

Lauri Peltola

MUUNTAMOSANEERAUSTEN  
VAIHEET JA KUSTANNUKSET  
Kustannusten alentaminen

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2016




MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  19.04.2016
<b>Tekijä(t)</b> Lauri Peltola	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Sähkötekniikka
<b>Nimeke</b> Muuntamosaneerausten vaiheet ja kustannukset; Kustannusten alentaminen	
<b>Tiivistelmä</b>  Tämän opinnäytetyön tilaaja oli Haminan Energia Oy. Haminan Energia Oy:n ydinliiketoimintaa ovat sähkö-, maakaasu-, kaukolämpö- ja tiedonsiirtoverkot sekä niiden ylläpito ja käyttö. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia sähköverkkoon kuuluvien puistomuuntamoiden saneerauksista aiheutuvia kustannuksia.  Työssä selvitetään muuntamosaneerauksen toimenpiteet ja saneerattavan kohteen eri saneerausvaihtoehdot. Työn tavoitteena oli tutkia erilaisia muuntamosaneerausten kustannusten pienentämisen mahdollisuuksia. Aikaisemmin hankinnat on tehty vanhentuneiden kustannusvertailujen pohjalta tai sitten linjaamalla tietty komponentti käytettäväksi.  Tämän opinnäytetyön teoriaosuus koostuu sähkönjakeluverkkoon vaikuttavista standardeista sekä määräyksistä, sähkönjakeluverkon komponenttien rakenteesta sekä käyttökohteista ja muuntamosaneerauksien suunnittelun käsittelystä. Työssä tarkoituksena oli pysyä Haminan Energia Oy:n puistomuuntamosaneerauksia koskevissa näkökulmissa. Empiirisessä osuudessa käsitellään yhden Haminan Energia Oy:n puistomuuntamosaneerauksen suunnittelua käytännössä ja lisäksi lasketaan saneerauksen kaapelointien rajatehoja sekä pohditaan kaapelivalintoja. Empiirisessä osuudessa vertaillaan eri puistomuuntamo valmistajia tarjouskyselyiden avulla. Kaapelivalintojen vertailu suoritetaan erilaisten kaapelointien vaikutuksia tutkimalla ja sähkötekniisiä ominaisuuksia laskemalla.  Tehdyn tutkimuksen pohjalta pystyttiin päättämään, että muuntamosaneerausten kustannukset ovat hyvällä tasolla. Muuntamosaneerausten komponenttien hankkimisesta aiheutuvia kuluja voidaan kuitenkin pienentää ja osassa kohteista olisi taloudellisempaa valita pienempi puistomuuntamo. Puistomuuntamoiden kaapeloinnista selvisi, että nykyistä kevyemmätkin kaapelit riittäisivät nykyisellä kuormitustasolla.	
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> muuntajat, muuntamot, sähköverkot, sähkölaitostekniikka	
<b>Sivumäärä</b> 34+5	<b>Kieli</b> Suomi
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>	
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Juha Korpijärvi	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Haminan Energia Oy

## DESCRIPTION

	<b>Date of the bachelor's thesis</b>  19.04.2016
<b>Author(s)</b> Lauri Peltola	<b>Degree programme and option</b> Electrical engineering
<b>Name of the bachelor's thesis</b> The stages and expenses of the secondary substation modernisation projects; Lowering the expenses	
<b>Abstract</b>  <p>The subject of this thesis was finding ways to lower the expenses in secondary substation modernisation projects of secondary substation. This thesis was commissioned by Haminan Energia Oy. Haminan Energia Oy is an energy company whose main businesses are distribution and marketing of electricity, natural gas and district heating.</p> <p>The purpose of this thesis was to obtain information about the modernisation projects and the different modernisation possibilities of the targeted secondary substation. The thesis discusses different possibilities of decreasing the costs of the secondary substation modernisation projects. Previously acquisitions have been made based on outdated expense comparisons or by just deciding to use specific components.</p> <p>The theoretical part of this thesis consists of the standards and instructions of electrical distribution network. It also includes information about the structure and targeted use of the components of electrical distribution network as well as handling the designing of the secondary substation modernisation projects. The empirical part of this thesis is about designing one of the Haminan Energia's secondary substation modernisation projects in practice. Empirical part also includes calculating border power of the cables and considering different cabling options. Comparing different secondary substation manufacturers were made by making invitations for tenders and by comparing prospectuses.</p> <p>Based on the results of this thesis it was possible to conclude that the costs of the secondary substation modernisation projects are at a decent level. The costs caused by the components of secondary substation modernisation projects can however be lowered and in some cases it would be more economical to choose smaller secondary substation. From the cabling of the secondary substation cablings it was found out that with the current load on the network the smaller cables would be enough.</p>	
<b>Subject headings, (keywords)</b>  secondary substation, energy company, distribution planning, electrical distribution network	
<b>Pages</b> 34+5	<b>Language</b> Finnish
<b>Remarks, notes on appendices</b>	
<b>Tutor</b> Juha Korpijärvi	<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Haminan Energia Oy

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	HAMINAN ENERGIA OY .....	2
3	OPINNÄYTETYÖN ASETTELU.....	3
4	SÄHKÖNJAKELUVERKON MÄÄRÄYKSET JA STANDARDIT.....	4
5	SÄHKÖNJAKELUVERKON KOMPONENTIT .....	5
5.1	Jakelumuuntamot ja niiden käyttökohteet .....	5
5.1.1	PJ-kojeistot.....	7
5.1.2	KJ-kojeistot .....	8
5.2	Muuntajat .....	9
5.3	Jakeluverkko .....	11
6	MUUNTAMOSANEERAUKSEN SUUNNITTELU .....	12
6.1	Saneeraustarpeen määrittely .....	12
6.2	Verkkotietojärjestelmä.....	13
6.3	Verkostolaskenta.....	14
6.4	Kaivuureitin suunnittelu .....	15
7	M068 MUUNTAMOSANEERAUS.....	15
7.1	Saneerattavien kohteiden nykytilanne .....	16
7.2	Saneerauksen vaihtoehdot .....	17
7.2.1	Kaapeleiden pinta-alan mitoitus .....	18
7.2.2	Asiakkaille aiheutuvat keskeytykset .....	20
7.3	Tarjouspyynnöt muuntamoista .....	21
7.4	Urakkaohjelma.....	22
7.5	Rakennustapaselostus .....	23
7.6	Tarjouspyyntö urakasta.....	24
8	MUUNTAMOSANEERAUSTEN KUSTANNUSTEN ALENTAMINEN .....	25
8.1	Muuntamoiden kilpailutus .....	26
8.2	Kaapeloinnin vaihtoehdot.....	27
8.3	Tulevaisuus .....	28
8.3.1	Luotettavuus.....	28
8.3.2	Laajennettavuus .....	29

9	POHDINTA .....	30
	LÄHTEET .....	33

#### LIITTEET

- 1 Muuntamovertailu
- 2 Tarjouskysely puistomuuntamoista
- 3 Kaapeleiden laskenta
- 4 Trimble DMS -tulokset
- 5 Saneerattava alue

## 1 JOHDANTO

Viime vuosina sähkön kulutus on hieman pienentynyt, mutta ennustetaan, että lähivuosina se jatkaa tasaista kasvuaan. Sähkön kulutuksen kasvaessa ja sähkönjakeluverkon komponenttien vanhetessa jakeluverkon saneeraukset tulevat aiheellisiksi. Nyky-yhteiskunnalle vakaa ja luotettava sähkönjakelu on elintärkeä tukipilari. Luotettavalla sähkönjakelulla aikaansaadaan tehokas teollisuus ja tuetaan nykyihmisten elämäntapaa.

Sähkönjakeluyhtiöiden toiminnan kannalta on tärkeää, että sähkönjakeluverkolle tehtävät laajennukset ja saneeraukset tehdään kustannustehokkaasti. Energiavirasto, suomen laki ja Suomessa seurattavat standardit määrittelevät jakeluverkolle vaatimuksia, joiden toteuttamisesta sähkönjakeluyhtiöt huolehtivat. Sähkönjakeluyhtiöissä tapahtuva jakeluverkon suunnittelu tehdään teknis-taloudellisesti, joten käytettävien komponenttien ja työtapojen aktiivinen vertailu on erittäin tärkeää.

Tämä opinnäytetyö käsittelee muuntamosaneerausten suunnittelua ja muuntamosaneerausten kustannusten alentamista. Opinnäytetyö tehdään Haminan Energia Oy:lle. Haminan Energia Oy:n muuntamosaneerausten kustannuksista ei ole tehty laajempaa vertailua, joten epäillään, että muuntamosaneerausten kustannuksia voisi mahdollisesti pienentää. Opinnäytetyön tavoitteena on kertoa muuntamosaneerausten suunnittelun työvaiheista ja vertailla muuntamosaneerausten kustannuksia sekä pohtia mahdollisia säästökohteita. Opinnäytetyössä vertaillaan puistomuuntajia, kilpailutetaan puistomuuntamoiden valmistajia, vertaillaan muuntamosaneerausten kaapelointien pinta-aloja ja lasketaan taloudellisia kaapelointivaihtoehtoja.

Tästä opinnäytetyöstä jätettiin pois muuntamosaneerausten työhön liittyvät kustannukset, koska Haminan Energia Oy kilpailuttaa valtaosan urakoista työkohtaisesti. Opinnäytetyön teoriaosuus koostuu muuntamosaneeraukseen liittyviin säädöksiin, standardeihin, komponentteihin ja työvaiheisiin perehtymisestä. Teoriaosuuden alussa käsitellään sähköverkkoa yleisesti, mutta myöhemmin perehdytään muuntamosaneerausten taustoihin ja työvaiheisiin tarkemmin. Työn empiirisessä osuudessa esitellään muuntamon M068 saneerauksen suunnittelu ja suunnitteluaineiston avulla tehty muuntamoiden vertailu ja kilpailutus. Empiirisessä osuudessa esitellään myös saadut tulokset ja niiden pohjalta tehdyt kehitysehdotukset.

## 2 HAMINAN ENERGIA OY

Haminan Energia Oy on vuonna 1994 yhtiötetty energiayhtiö, jonka koko osakekannan omistaa Haminan kaupunki. Haminan Energia Oy:n liiketoimintaan kuuluvat sähkön ja maakaasun jakelu, kaukolämmön jakelu sekä tiedonsiirtopalvelut. Haminan Energia Oy:llä on myöskin sähköntuotantoa, josta valtaosa koostuu tuulivoimaloiden tuottamasta energiasta. Haminan Energia Oy:llä on tällä hetkellä kuusi kappaletta tuulivoimaloita, jotka tuottivat vuonna 2015 yhteistehona n. 34,9 GWh.

Vuoden 2016 alussa Haminan Energia Oy:n sähkönjakeluverkon alueella oli noin 3200 pj- liittymää ja n.30 kj- liittymää. Sähkönkuluttajien määrä on kasvanut tasaisesti koko Haminan Energia Oy:n toiminnan-ajan. Haminan Energia Oy:n sähkönjakeluverkon kokonaiskulutus vuodessa on noin 161 GWh. Haminan Energia työllistää vakituisesti 51 työntekijää ja sen lisäksi palkkaa aktiivisesti kesäisin kesätyöntekijöitä.



**KUVA 1. Trimble DMS -näkymä Haminan Energia Oy:n sähkönjakeluverkosta**

Tässä opinnäytetyössä keskitytään Haminan Energian sähkönjakeluverkoston muuntamosaneerauksiin. Työn lähtökohtana on se, että jakeluverkon kuluessa ja vanhetessa muuntamosaneerauksia on pakko tehdä, jotta verkon luotettavuus pidetään siedettävällä tasolla. Haminan Energian jakelualueella on 153 kpl jakelumuuntajia. Työn tavoitteena on Haminan Energian muuntamosaneerausten kustannusten pienentäminen.

### 3 OPINNÄYTETYÖN ASETTELU

Tässä luvussa kerrotaan tämän opinnäytetyön asettelusta ja lukujen sisällöstä. Tämän opinnäytetyön tarkoitus ja tavoitteet on käsitelty johdannossa, eli luvussa yksi. Luvussa kaksi kerrottiin tämän opinnäytetyön tilaajasta, joka oli Haminan Energia Oy.

Luvut neljä, viisi ja kuusi ovat teorialukuja, joissa on hyödynnetty aiheeseen liittyviä kirjallisuuslähteitä. Luvussa neljä käsitellään tätä työtä tehdessä huomioituja muuntamosaneerauksiin, muuntamoihin ja sähkönjakeluverkkoon liittyviä säännöksiä ja standardeja. Luvussa viisi käydään läpi sähkönjakeluverkon komponentteja etenkin muuntamosaneerauksien näkökulmasta. Luvussa kuusi käsitellään muuntamosaneerauksen suunnittelun vaiheita ja suunnittelun apuvälineitä.

Luvuissa seitsemän, kahdeksan ja yhdeksän käsitellään opinnäytetyön empiiristä osuutta. Luvussa seitsemän käydään läpi muuntamon M068 saneerauksen suunnitteluun liittyviä taustoja ja työvaiheita. Luvussa seitsemän on muun muassa saneerattavan kohteen nykytilanne, saneerauksen vaihtoehdot ja saneerauksen suunnitteluun liittyviä työvaiheita. Luvussa kahdeksan keskitytään muuntamosaneerauksen kustannuksiin ja niiden pienentämiseen. Luvussa kahdeksan käsitellään myöskin saneerattavan kohteen tulevaisuutta. Luku yhdeksän on pohdinta ja yhteenveto toteutuneesta muuntamosaneerauksen suunnittelusta sekä saneerauksen kustannuksista.

Opinnäytetyön liitteissä on esitettyinä työssä hyödynnettyjä taulukoita ja kuvia. Puistomuuntamoiden vertailussa hyödynnetty taulukko on liite 1. Puistomuuntamoista lähetetty tarjouskysely on esitetty liitteessä 2. Kaapeleiden mitoituksessa suoritettujen laskujen välivaiheet sekä niiden tulokset on esitettyinä liitteessä 3. Liitteessä 4 on osa Trimble DMS -ohjelmalla suoritettujen laskujen tuloksista. Liitteessä 5 on Trimble NIS -kuva saneerattavan kohteen lähtötilanteesta ja nykyisistä kaapelireiteistä.



## 4 SÄHKÖNJAKELUVERKON MÄÄRÄYKSET JA STANDARDIT

Sähköjakeluverkon kanssa työskentelyyn ja sen suunnitteluun vaikuttavat useat eri lait ja asetukset. Sähköjakeluverkkoon liittyvät lait, säädökset, standardit ja ohjeet pohjautuvat pääosin sähköturvallisuusmääräyksiin ja sähkölakiin. Sähköjakeluverkkoon liittyvinä standardeina Suomessa käytetään suomalaisia SESKO:n valmistelemia ja SFS:n julkaisemia standardeja sekä maailmanlaajuisia IEC-standardeja.

Sähköjakeluverkkoihin liittyviä standardeja ja määräyksiä:

- KTMp 1193/1999
- KTMp 335/2004
- Sähköturvallisuuslaki
- Sähköturvallisuusasetus
- SFS-EN 50160
- SFS-EN 50341-1
- SFS-EN 50341-2-7
- SFS 6001 (2015)

Jakelumuuntamoihin liittyviä standardeja ja määräyksiä:

- KTMp 1193/1999
- KTMp 517/1996
- SFS-EN61439-1
- IEC 62271–100
- IEC 62271–102
- IEC 62271–201
- IEC 62271–202
- IEC 61439-1
- SFS 6000 (2012)

Tämä opinnäytetyö on kirjoitettu ennen sähköturvallisuuslakiin tulevaa uudistusta keväällä 2016, joten jotkin mainituista sähköturvallisuuslain pykälistä saattavat olla vanhentuneita.

## 5 SÄHKÖNJAKELUVERKON KOMPONENTIT

Tässä luvussa käsitellään sähköjakeluverkkoa yleisesti ja sähköjakeluverkon komponentteja muunntamosaneerauksen näkökulmasta. Tarkoituksena on kertoa sähköjakeluverkon komponenttien rakenteesta ja ominaisuuksia. Tässä luvussa ei käsitellä sähköntuottamista.

Vaihtosähköjärjestelmän sähkönsiirtoverkoissa hyödynnetään kolmivaihejärjestelmää. Sähköverkko koostuu kolmesta pääosasta: johdoista, muuntajista ja generaattoreista. Generaattoreiden tuottama jännite muunnetaan muuntajien avulla kantaverkon tasolle. Suuret jännitetasot mahdollistavat pitkät siirtoyhteydet. (Hietalahti 2013, 82.)

Sähköverkon pääkomponenttien lisäksi sähköverkkoon kuuluu paljon toissijaisia laitteita ja järjestelmiä. Toissijaisiin laitteisiin ja järjestelmiin kuuluvat muun muassa suoja releet ja apujännitejärjestelmät, käytönvalvontajärjestelmät, verkkotietojärjestelmät sekä asiakastietojärjestelmät. (Lakervi & Partanen 2008, 11.)

### 5.1 Jakelumuuntamot ja niiden käyttökohteet

Jakelumuuntamoita käytetään suurempi jännitteisen verkon yhdistämisessä pienempi jännitteiseen verkkoon. Suomessa jakelumuuntamoita käytetään yleensä 20 kV:n jännitteen muuntamisessa 400 V:n tasolle. Taajamissa käytettävät jakelumuuntamot ovat usein kalliimpia, kuin haja-asutusalueilla, koska taajamissa on otettava ympäristövaatimukset paremmin huomioon. (Lakervi & Partanen 2008, 157.)



KUVA 2. Esimerkki puistomuuntamon pohjapiirroksesta (ABB, TTT-käsikirja)

Kiinteistö- ja puistomuuntamon perusosia ovat: jakelumuuntaja, pienjännitekojeisto ja keskijännitekojeisto. Muuntamoihin voidaan käyttökohteen tarpeista riippuen lisätä myöskin loistehon kompensointia, yliaaltojen suodatusta ja kaukokäyttösovelluksia. (ABB TTT-käsikirja 2000, 25.)

Muuntamot jaotellaan liitännätavan mukaan joko kaapeli- tai ilmajohtoliitännäisiksi muuntamoiksi. Ilmajohtoliitännäiset muuntamot ovat usein kaapeliliitännäisiä muuntamoita pienempiä. Kaapeliliitännäiset muuntamot jaotellaan sijainnin mukaan puistomuuntamoihin ja kiinteistömuuntamoihin. Puistomuuntamo sijaitsee omassa rakennuksessaan ja kiinteistömuuntamot rakennetaan rakennuksen yhteydessä olevaan muuntamotilaan. Asuinrakennusten yhteydessä olevien kiinteistömuuntajien rakentamiseen liittyy enemmän säädöksiä kuin erillään oleviin puistomuuntamoihin. (Ruppa 2004, 6.)



**KUVA 3. Puistomuuntamo ja pylväsmuuntamo (Järvinen 2012)**

Säihköturvallisuuslainsäädäntö määrittää, että muuntamon turvallisesta käytöstä vastaa aina haltija. Haltijan vastuita ja velvoitteita ovat muun muassa muuntamon käytön joh-

tajan nimeäminen sekä muuntamon tarkastuksista ja huolloista huolehtiminen. Suurjännitelaitteistoihin kuuluvan muuntajan käytön johtaja tulee ilmoittaa sähköturvallisuusviranomaisille ja jakeluverkon haltijalle. (Kauppila ym. 2010, 47–48.)

### **5.1.1 PJ-kojeistot**

Muuntamon pienjännitekeskuksissa muuntajalta tuleva pj-syöttö jaetaan pienjänniteverkkoa syöttäville lähdoille. Pienjännitteiset keskuksset jaotellaan kahteen luokkaan, joita ovat avoimet keskuksset ja koteloidut keskuksset. Keskusten jaottelu tehdään rakentavan perusteella. (Elovaara & Haarla 2011b, 126.)

Avoimien pienjännitekeskuksien käyttö on rajoitettu sähkötiloihin, joihin on normaalisti pääsy vain riittävän päteväällä käyttöhenkilökunnalla. Uusien avoimien keskuksien rakentaminen on lähes loppunut, koska ne vaativat koteloituja keskuksia suuremman tilan ja ne eivät ole yhtä turvallisia. Nykyään avoimia pienjännitekeskuksia löytyy lähinnä vain vanhoilta muunto- ja tehdasasemilta. (Elovaara & Haarla 2011b, 127.)

Koteloitujen keskuksien rakenteellinen vaatimus on, että paljaat jännitteelliset osat ovat kosketeltavissa vain jos työkalulla irrottaa peitelevyn tai avaa muun vastaavan suojuksen. Koteloidut keskuksset jaetaan IP-luokkiin, jotka kertovat kosketussuojauksen tason tarkemmin. Koteloituja keskuksia valmistetaan eri käyttökohteisiin, joita ovat muun muassa asuin- ja liikehuoneistot, teollisuuskäytöt ja jakeluverkon jakokeskuksina toimiminen. Koteloidut pj-keskuksset jaetaan käyttökohteen mukaan muun muassa ryhmäkeskuksiin, mittarikeskuksiin, ohjauskeskuksiin ja työmaakeskuksiin. (Elovaara & Haarla 2011b, 126–127.)

Muuntamon pienjännitekojeistoon sijoitetaan yleensä pääkojeeksi joko kuormakytin tai kompaktikatkaisija. Lähtöinä käytetään usein joko jonovaroke- tai kompaktikatkaisijalähtöjä. Pienjännitekojeistoon on mahdollista sijoittaa myöskin energiamittaus-, omakäyttö- ja katuvalo-osat. (ABB TTT-käsikirja 2000, 25.)



**KUVA 4. Esimerkki puistomuuntamon PJ-kojeistosta (Elkamo 2016)**

Yhden muuntajan muuntamoissa on yleistä, että pj-keskus sijoitetaan heti muuntajan viereen. Tällöin muuntajan ja pj-keskuksen välinen siirtojohto saadaan pidettynä lyhyenä ja hajamagneettikentät pieninä. (Kauppila ym. 2010, 51.) Luvun 4.1 kuvassa 2 on esitettyä yksi vaihtoehto pj-keskuksen sijoitukselle.

### **5.1.2 KJ-kojeistot**

Muuntamon keskijännitekojeisto toimii tyypillisesti 20 kV:n jännitettä, mutta joissakin kaupungeissa on käytössä 10 kV:n jännitteellä toimivia kojeistoja (Lakervi & Partanen 2008, 125). Muuntamon keskijännitekojeiston kytkinlaitteet, etenkin erottimet, ovat usein kauko-ohjattavia. Kauko-ohjauksen avulla tapahtuva erottimen ohjaus on huomattavasti käsiohjausta nopeampaa. (Lakervi & Partanen 2008, 151.)

**TAULUKKO 1. Suurjännitekojeistojen ominaisuuksia (ABB, TTT-käsikirja)**

Koje/Ominaisuus	Kennokoteloitu	SF6 eristeiset	
		Kompaktirak.	RMU
Kuormanerotin	X	X	X
Varokekuormanerotin	X	X	X
Katkaisija			
- erillinen SF6-eristetty	X		
- erillinen tyhjä	X		
- kiinteä tyhjä		X	X
Maadoituskytkimet			
- vakiona		X	X
- valittavissa	X		
SJ-mittaus	X	X	
Suojaus			
- varokkeet	X	X	X
- rele	X	X	X
Kaapelipäätteet			
- tavanomainen	X		
- pistokepäätte		X	X

Muuntamon keskijännitekojeisto koostuu yleensä joko kennokoteloitusta kojeistosta tai SF6-kaasueristeisestä kojeistosta. Kennokoteloitun kojeiston pääkojeisiin kuuluvat SF6-eristeinen kuormanerotin ja tyhjiö- tai SF6-eristetty katkaisija. SF6-kaasueristeisen kojeisto on rakenteeltaan joko rengassyöttökojeisto tai kennorakenteinen kompaktikojeisto. (ABB TTT-käsikirja 2000, 25.)

## 5.2 Muuntajat

Muuntaja koostuu rautasydäimestä ja käämityksistä. Rautasydämen rakentamisessa käytetään laminoituja levyjä, jotta vaihtokentän synnyttämät pyörrehäviöt pysyisivät pieninä. Rautasydämen ympärille taivutetaan johdinkierroksia useisiin eri kerroksiin. Rautasydämen ympärillä olevia johdinkierroksia kutsutaan käämitykseksi. Muuntajat ovat joko yksivaiheisia tai monivaiheisia. (Hietalahti 2011, 4.) Muuntaja on vaihtosähköjärjestelmän sähkölaite, joka käyttää sähkömagneettista induktiota jännitteiden ja virtojen muuntamiseen sekä säätämiseen. Yleensä kolmivaihemuuntajien muuttamaa vaihekulmaa ei voida säätää, vaan se muuttuu muuntoprosessissa aina vakiomäärän. On olemassa myöskin muuntajia, joilla vaihekulmaa voidaan muuttaa ja säätää. (Elovaara & Haarla 2011a, 141.)

Öljyeristeiset muuntajat ovat jakelumuuntajina muita muuntajatyyppejä yleisempiä. Kuivamuuntajia käytetään yleensä paikoissa, joissa vikaantunut öljymuuntaja saattaisi aiheuttaa haittoja, kuten esimerkiksi vedenpuhdistuslaitoksissa ja väestönsuojissa. Kuivamuuntajien mahdollisia huonoja puolia ovat muun muassa melutaso ja hankintahinta. Öljymuuntajiin päädytään usein, koska niiden on todettu olevan luotettavia ja ne kestävät erilaisia sääolosuhteita hyvin. (Kauppila ym. 2010, 59.)

Kolmivaihemuuntajat voidaan kytkeä yläjännitepuolelta joko kolmioon (D) tai tähteen (Y) ja alajännitepuolelta kolmioon (d), tähteen (y) tai hakatähteen (z). Kuvassa 5 on kuvattuna kaikki Suomessa käytössä olevat standardoidut kolmivaihemuuntajien osoitin- ja kytkentäpiirrokset.

Kytkentäryhmä IEC:n mukaan	Osoitinpiirros		Kytkentäpiirros		Toision Nollapiste
	Ylä- jännite	Ala- jännite	Ylä- jännite	Ala- jännite	
0	Dd 0				Ei saatavissa
	Yy 0				n. 10% kuormitettavissa.
	Dz 0				100% kuormitettavissa
5	Dy 5				100% kuormitettavissa
	Yd 5				Ei saatavissa
	Yz 5				100% kuormitettavissa
6	Dd 6				Ei saatavissa
	Yy 6				n. 10% kuormitettavissa
	Dz 6				100% kuormitettavissa
11	Dy 11				100% kuormitettavissa
	Yd 11				Ei saatavissa
	Yz 11				100% kuormitettavissa

**KUVA 5. Kolmivaihemuuntajien osoitin- ja kytkentäpiirrokset (Muuntaja yleisesti 2016)**

Yleisin kytkentä kolmivaihemuuntajissa on Y-kytkentä, jota käytetään sekä ala- että yläjännitepuolella. Y-kytkennässä käämien toiset päät liitetään yhteen, joiden yhtymä-

kohdassa muodostuu nollapiste, johon kytketään nollajohdin. Y-kytkennässä vaihejännite on pääjännite jaettuna  $\sqrt{3}$  ja vaihejännite muodostuu äärijohtimen ja nollajohtimen välille. (Muuntaja yleisesti 2016.)

### 5.3 Jakeluverkko

Sähkönjakeluverkon rakenne ja siihen liittyvät toimet vaikuttavat suuresti sähkön laatuun, hintaan ja sähköturvallisuuteen. Sähkön kuluttajien sähkön käyttömäärä vaikuttaa sähkönjakeluverkkoliiketoiminnan osuuteen sähkön hinnasta, yleensä osuus on 15–50 %. (Lakervi & Partanen 2008, 17.)

Valtaosa Suomen sähkönjakelusta ja siirrosta toteutetaan kolmivaiheista vaihtosähköjärjestelmää hyödyntäen. Tasasähköjärjestelmiä hyödynnetään osassa liikennevälineistä ja pitkissä suurjännitteellisissä siirtoyhteyksissä. (Hietalahti 2011, 80.) Vaihtosähköjärjestelmän etuina pidetään mahdollisuuksia rakentaa silmukoituja verkkoja ja muokattavuutta. Vaihtosähköjärjestelmässä voidaan tarvittaessa lisätä uusia johtosuusia sähköasemille sekä väliasemia keskelle johtoja. (Elovaara & Haarla 2011a, 299.)

Suurjännitteinen jakeluverkko pyritään yleensä rakentamaan silmukkaverkoiksi ja johtorenkaiksi. Silmukkaverkoilla parannetaan verkon käyttövarmuutta, koska syöttöasemille ja muuntamoille on mahdollista syöttää sähköä useampaa eri tietä. Jakeluverkoissa käytettävät silmukat pidetään kuitenkin normaalisti auki, koska silmukkaverkon käyttö vaatii kalliimman suojaruleistyksen. Johtorenkaita hyödynnetään etenkin katkojen välttämiseksi kytkentöjä muutettaessa ja vikojen etsinnöissä. Kaupungeissa pienjänniteverkkoja käytetään säteittäisesti, mutta ne rakennetaan usein rengasverkoiksi. Kustannussyiden takia taajamien ulkopuoliset pienjänniteverkot rakennetaan usein säteittäisiksi. (Elovaara & Haarla 2011a, 57.)

Suomen sähkön siirto- ja jakeluverkon käyttöjännitteet on standardoitu, jotta verkko olisi mahdollisimman käyttökelpoinen. Uusissa verkoissa käytettävät jännitetasot ovat 400 kV, 220 kV, 110 kV, 20 kV, 1 kV ja 400V. Teollisuuslaitosten sisäisessä jakelussa käytetään usein myöskin 10 kV, 6 kV, 3 kV ja 690 V jännitetasoja. Suomen rautateillä käytetään 1 x 25 kV ja 2 x 25 kV jännitteitä. Suomessa käytettävä syöttötaajuus on 50 Hz. (Hietalahti 2011, 82.)



## 6 MUUNTAMOSANEERAUKSEN SUUNNITTELU

Tässä luvussa käsitellään sähköverkon suunnittelua muuntamosaneerausten näkökulmasta, mutta luvussa sivutaan myös sähköverkon suunnittelua yleisesti. Luvun tarkoituksena on eritellä ja esitellä muuntamosaneerauksen suunnittelun päävaiheet.

Sähköverkon ja muuntamosaneerausten suunnittelussa on erityisesti huomioitava se, että verkko toimii hyvin ja edes vikatapaukset eivät saisi aiheuttaa ei-toivottuja seuraamuksia. Osa suunnittelun laatukriteereistä liittyy sähkön toimitusvarmuuteen ja osa sähkön teknisiin ominaisuuksiin. Sähkö on nyky-yhteiskunnalle lähes välttämättömyys, joten toimituskeskeytysten kannalta hyvä suunnittelu on tärkeää. (Elovaara & Haarla 2011a, 73.)

### 6.1 Saneeraustarpeen määrittely

Saneeraustarvetta määriteltäessä on huomioitava komponenttien pitoajat ja kehittämissuunnitelma. Sähkönjakeluverkon komponenttien pitoajat suunnitellaan tekniikka ja taloudellisuus huomioiden mahdollisimman pitkiksi. Pitkässä suunnittelussa 30–50 vuotta on yleinen pitoaika. Pitkistä pitoajoista johtuen sähkönjakeluverkon pitkän aikavälin suunnittelu on erittäin tärkeää. Pitkän aikavälin suunnittelun pohjalta luodaan kehittämissuunnitelma, jota hyödynnetään saneerauskohteiden valitsemisessa. (Lakervi & Partanen 2008, 69.)

Saneeraustarpeen määrittelyssä yksi tärkeimmistä asioista on taloudellisuuden ja luotettavuuden suhteen huomioiminen verkkoon tehtävissä investoinneissa. Muita huomioitavia asioita ovat muun muassa sähkön toimituksen keskeytyksettömyys ja mahdolliset vaarat ihmiselle, omaisuudelle tai ympäristölle. (Elovaara & Haarla 2011a, 73) Sähköyhtiöiden käytössä olevat verkkotietojärjestelmät antavat hyvän tuen jakeluverkkojen saneerauskohteiden hakemiselle ja priorisoinnille. Verkkotietojärjestelmien seurantalaskennalla saadaan selville sähköyhtiön koko jakeluverkon sähkötekniinen tila. (Lakervi 1996, 96.)

Sähkönjakeluverkon kehittämisen ja saneeraamisen seuraamiseksi Energiavirasto vaatii sähkönjakeluverkon haltijaa toimittamaan Energiavirastolle sähkönjakeluverkon kehittämissuunnitelman. Kehittämissuunnitelman liitteinä tulee palauttaa seuraavat liitteet:

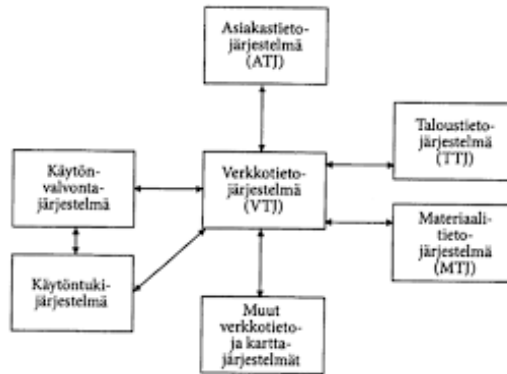
- sähkönjakeluverkon kehittämissuunnitelman strategiset lähtökohdat
- sähkönjakeluverkon pitkän aikavälin suunnitelma toiminnan laatuvaatimusten täyttämiseksi
- selostus sähkönjakeluverkon nykytilanteesta toiminnan laatuvaatimusten kannalta.

Energiavirastolle pitää myös toimittaa sähkönjakeluverkon kuluvan ja seuraavan vuoden suunnitelma laatuvaatimusten täyttämiseksi. Lisäksi energiavirastolle on toimitettava sähkönjakeluverkkoon kahden edellisen vuoden aikana laatuvaatimusten täyttämiseksi tehdyt toimenpiteet. (Määräys sähkönjakeluverkon kehittämissuunnitelmasta 2014.)

## 6.2 Verkkotietojärjestelmä

Alkuperäiset verkkotietojärjestelmät alkoivat yleistymään jo 1960-luvulla. Vanhoissa verkkotietojärjestelmissä ei ollut karttatietoja, mutta topologian ja laskutustietojen avulla ne kykenivät suorittamaan tehonjako- ja oikosulkuvirtalaskelmia. Nykyaikaiset verkkotietojärjestelmät ovat graafisia tietokantajärjestelmiä, joiden keskeisimpiä ominaisuuksia ovat: karttapohjainen käyttöliittymä, verkon arvojen laskeminen, tulosten liittäminen verkkokuvaan ja verkon kohteiden ominaisuustietojen näkeminen kursorilla osoittamalla. (Lakervi & Partanen 2008, 265.)

Verkkotietojärjestelmään liitetään usein myös muita sähköyhtiön tietojärjestelmiä, joita ovat esimerkiksi asiakastietojärjestelmä, käytönvalvontajärjestelmä, käytöntukijärjestelmä, materiaalitietojärjestelmä, taloustietojärjestelmä, maanmittauslaitoksen karttajärjestelmä ja kaupungin karttajärjestelmä. Liitettyjen tietojärjestelmien ja ominaisuuksiensa ansiosta verkkotietojärjestelmät ovat sähköyhtiöiden keskeisiä tietopankkeja, dokumentointiympäristöjä ja suunnittelujärjestelmiä. (Lakervi & Partanen 2008, 266.)



**KUVA 6. Verkkotietojärjestelmän yhteys muihin verkkoyhtiön järjestelmiin (Lakervi & Partanen 2008, 267)**

Verkkotietojärjestelmän avulla jakeluverkon laajennusten suunnittelussa tarvittavat tekniset ja taloudelliset mallit sekä laskentamallit ovat helposti saatavilla ja hyödynnettävissä. Verkkotietojärjestelmä sisältää olemassa olevan verkon sekä sen kuormitus- ja laitetiedot. Suunnittelun kannalta verkkotietojärjestelmän graafinen käyttöliittymä on yksi sen tärkeimmistä ominaisuuksista. Joustavan graafisen käyttöliittymän avulla jakorajojen ja muiden verkon kohteiden simulointi on helppoa ja tehokasta. (Lakervi & Partanen 2008, 269.)

### 6.3 Verkostolaskenta

Verkostolaskennan tarkoituksena on kuvata sähköverkon turvallisuutta ja toiminnallisuutta. Laskennat tehdään sähköverkosta sekä normaalissa käytössä, että mahdollisissa vikatilanteissa. Verkostolaskennan tavoitteena on antaa hyvät valmiudet verkon rakentamiseen, saneerauksiin ja muihin muutoksiin. (Verkostolaskenta 2013.)

Sähköverkon suunnittelu pohjautuu verkostolaskennan laskennallisten menetelmien hyödyntämiseen. Verkostolaskennan suorittamiseksi sähköverkon rakenteesta luodaan sijaiskytkennät ja matemaattiset mallit. Suunnittelulaskentaa varten on tiedettävä sähköverkon pääosien sähkötekniset arvot. Laskennan kannalta verkon pääosia ovat: kuormat, johdot, muuntajat, generaattorit ja kompensointilaitteet. (Elovaara & Haarla 2011a, 76.)

Verkostolaskennalla seurataan verkoston kuormitettavuutta ja verkoston lainmukaisuutta. Laskenta tehdään suunnittelutyön yhteydessä aina kun verkostoa muutetaan, siihen liitetään uusia asiakaslaitteita tai rakennetaan uutta jakeluverkkoa. Laskettavien arvojen määrä riippuu suunniteltavan projektin laajuudesta. Komponenttien mitoitus ja suojauksen toimivuus tarkistetaan aina yksittäisen suunnitelmatyön yhteydessä verkostolaskennan avulla. Laskentatulokset dokumentoidaan suunnitelma-aineistoon. (VS-TO-204 2014, 3.)

Jakeluverkon suunnittelu on vaativa optimointitehtävä, jossa suunnitellaan keskijänniteverkko, pienjänniteverkko ja muuntamoiden sijainnit. Sähköverkon suunnittelu aloitetaan arvioimalla ja laskemalla sähköverkon kuormituksia. Kuormitusten laskemiseksi on selvitettävä sähköverkon solmupisteissä olevat lois- ja pätötehot. Sähköverkon kuormitusten avulla voidaan määrittää verkon riittävyys maksimikuormien siirtämisessä. (Elovaara & Haarla 2011a, 79.)

#### **6.4 Kaivuureitin suunnittelu**

Uutta kaivuureittiä suunniteltaessa tehdään usein maastosuunnittelua ja tarvittaessa maastotutkimuksia. Kaivuureittiä valittaessa olisi hyvä selvittää ja arvioida mahdollisen raivauksen-, louhinnan-, asfaltoinnin- ja multauksen tarve. Kaivuureitin suunnittelussa on huomioitava mahdolliset risteävät rakenteet, joita voivat olla vesiputket, viemäriputket, maakaasuputket ja muut maahan asennetut rakenteet. (VS-TO-204 2014, 3.)

Kaivuureitin suunnittelun yhteydessä tehdään usein reittiäpiirustukset. Reittiäpiirustusten tarkoituksena on antaa lisätietoa työkohteesta urakoitsijoille. Reittiäpiirustusten yhteyteen liitetään usein poikkileikkauspiirustukset tehtävistä kaivannoista ja kaivantoon sijoitettavista materiaaleista, kuten esimerkiksi kaapeleista ja suojaputkista. Poikkileikkauspiirustuksissa esitetään myöskin kaivannon materiaalien keskinäiset sijainnit. (VS-TO-204 2014, 3.)

### **7 M068 MUUNTAMOSANEERAUS**

Puistomuuntamon M068 saneeraus kuuluu laajempaan Haminan Poitsilassa tapahtuvaan saneeraukseen, johon sisältyy myös toisen muuntamon M091 saneeraus. Tässä

opinnäytetyössä saneerausta käsitellään muuntamon M068:n kautta, koska se on saneerauksista laajempi.

Muuntamo M068 sijaitsee Haminan kaupungissa Poitsilan alueella. Muuntamosaneerauksen suunnittelussa oli huomioitava, että saneerattava verkko on taajama-alueella ja puistomuuntamo on Haminan kaupungin omistamalla tontilla. Muuntamosaneerauksessa saneerataan muuntamo M068 ja siihen liittyviä pj- ja kj-kaapelointeja. Muuntamosaneerauksen yhteydessä siirretään myöskin katuvalokeskus pois muuntamon yhteydestä.

Haminan Energia Oy:llä on saneerausohjelma, jonka mukaan saneerauksien aikataulusta tehdään alustavia aikatauluksia. Saneerausohjelman lisäksi Haminan Energia Oy suorittaa vuosittain muuntamotarkastuksia, joilla varmistetaan jakeluverkon luotettavuus. Muuntamo M068 on saneerausohjelmassa suunniteltu saneerattavaksi vuonna 2016, vaikkei siinä ole havaittu mitään akuutteja ongelmia.

## **7.1 Saneerattavien kohteiden nykytilanne**

Nykyinen muuntamo M068 on käyttöön otettu vuonna 1977. Valtaosa saneerattavista kj-kaapeloinneista on tehty kaapelilla APYAKMM 3x120, joka on asennettu vuonna 1981. Muuntamon tekniseksi käyttöiäksi oli suunniteltu noin 40 vuotta ja kaapeleiden käyttöiäksi 30–40 vuotta, joten tämä saneeraus tulee olemaan jo aiheellinen.

Saneerattavien kaapeleiden lisäksi muuntamolle M068 tulevia kaapeleita ovat toinen kj-kaapeli, yhdeksän pj-kaapelia, 4 katuvalokaapelia ja laajan maadoitusverkon kupareita. Muuntamolle M068 tulevilla pj-kaapeleilla on vielä käyttövuosia jäljellä ja muuntamon toinen kj-kaapeli on asennettu vuonna 2011, joten niitä ei saneerata. Saneerattavassa muuntamossa on myöskin katuvalokeskus ja ohjauskaappi.



**KUVA 7. Trimble NIS -näkymä nykytilanteesta**

Kuvassa 7 on esitettyä muuntamon M068 nykytilanne. Kuvassa 7 katkoviivat esittävät maakaapeleita ja yhtenäiset viivat ilmajohtoja. Kuvassa esitettyjen kaapeleiden värikoodit menevät seuraavasti: vaaleansiniset pj-kaapeleita, vaaleanvihreät kj-kaapeleita, keltaiset katuvalokaapeleita, katkoviiva ja piste-viivatyypin valkeat kupareita, yhtenäiset valkeat ohjauskaapeleita, oranssit tietoliikenteen suojaputkia ja tummansiniset sähköverkon suojaputkia.

## 7.2 Saneerauksen vaihtoehdot

Muuntamon sijoituksessa vaihtoehtoja oli useampia, mutta uuden muuntamon sijoittaminen vanhan muuntamon läheisyyteen oli helpointa ja kustannustehokkainta. Uuden muuntamon sijoituksessa rajoittavina tekijöinä toimivat tässä tapauksessa tontin rajat ja samalla tontilla toimivan yrittäjän toimipisteen parkkipaikka. Muuntamosaneeraus hahmutettiin suorittaa ympäristön ja ihmisten kannalta mahdollisimman pienillä haitoilla.

Muuntamon M068 saneerauksen yhteydessä olisi ollut suhteellisen helppoa muuttaa pieni osa AMKA-kaapeloidusta katuvaloverkosta maakaapeloinnin piiriin. Maakaapeloinnin tekeminen olisi ollut helppoa, koska samaa katua pitkin tullaan kaivamaan uusi 20 kV kaapeli. Tässä mittakaavassa tapahtuvan katuvaloverkon saneerauksen ei kuitenkaan ajateltu olevan aiheellista tai ajankohtaista, joten se päätettiin jättää tekemättä.

### 7.2.1 Kaapeleiden pinta-alan mitoitus

Kaapeleiden mitoituksessa tarvittava laskenta tehtiin pääosin verkkotietojärjestelmän laskentasovelluksilla. Verkkotietojärjestelmän avulla on mahdollista suorittaa kj-verkon tehonjakolaskenta, oiko- ja maasulkulaskenta sekä massalaskenta. Pj-verkoille voi suorittaa samat laskennat kuin kj-verkoille maasulkulaskentaa lukuun ottamatta.

Rajatehojen laskennan suoritin Erkki Lakervin ja Jarmo Partasen Sähkönjakelutekniikka teoksen ohjeistuksen avulla. Tavoitteenani oli ratkaista rajateho, jolla suuremman ja investointikustannuksiltaan kalliimman poikkipinnan käyttäminen olisi häviösäästöjen takia edullisempaa. Tämän ratkaisemista kuvaa epäyhtälö 1. Yhtälössä 1  $A_1$  kuvaa pienempää poikkipintaa,  $A_2$  suurempaa poikkipintaa,  $K_h$  johdinten häviökustannusten nykyarvoa ja  $K_I$  johdinten investointikustannuksia.

$$K_{hA_1} - K_{hA_2} > K_{IA_2} - K_{IA_1} \quad (1)$$

Epäyhtälön 1 avulla voidaan johtaa epäyhtälö 2, joka määrittelee rajatehon. Epäyhtälöllä 2 määritellään johdon näennäistehon vähimmäismäärän, jolla suuremman poikkipinnan käyttö on taloudellista.

$$S_1 \geq U \sqrt{\frac{k_{IA_2} - k_{IA_1}}{\kappa c_h (r_{A_1} - r_{A_2})}} \quad (2)$$

missä,

$c_h$  = häviöiden hinta €/kW,a

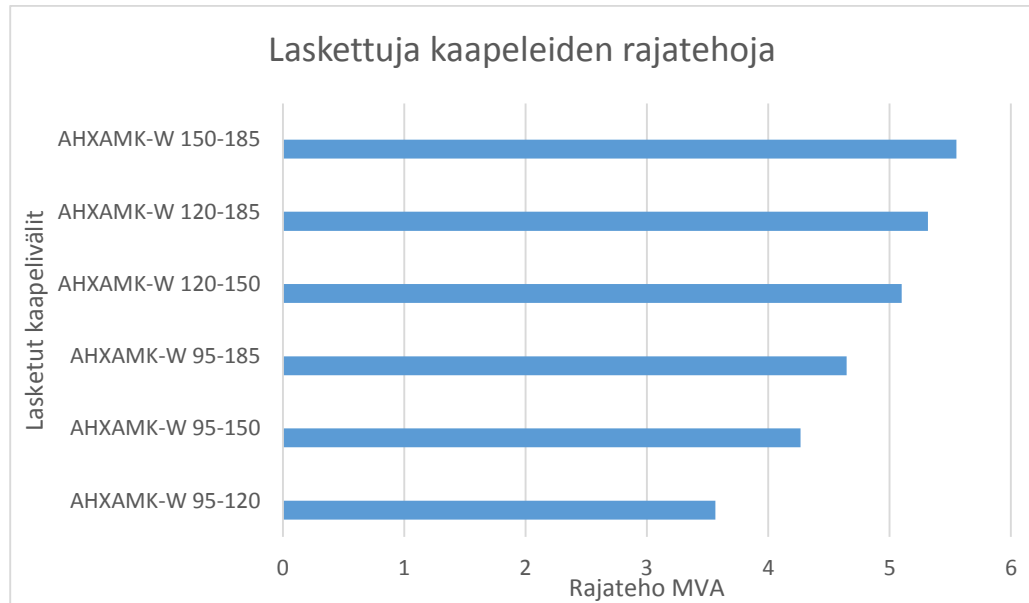
$\kappa$  = häviöiden kapitalisointikerroin

$k_{IA_1}$  ja  $k_{IA_2}$  = Poikkipintojen  $A_1$  ja  $A_2$  investointikustannukset €/km

$r_{A_1}$  ja  $r_{A_2}$  = Johdinpoikkipintojen  $A_1$  ja  $A_2$  resistanssit  $\Omega$ /km

Laskin kaapeleiden rajatehot kaapeleille AHXAMK-W 3x120+35, AHXAMK-W 3x150+35 ja AHXAMK-W 3x180+35. Häviöiden hinnaksi arvelin 70€/kW,a, investointikustannuksiksi arvelin kaapeleiden johdinpoikkipintojen mukaan pienimmästä suurimpaan 34200€/km, 39510€/km ja 42130€/km. Johdinpoikkipintojen resistansseina käytin kaapeleiden valmistajan ilmoittamia arvoja. Häviöiden kapitalisointikertoimeksi

laskin 24,82. Kaapeleiden väleille lasketut rajatehot on esitetty kaaviossa 2. Tarkemmat Exelillä suoritettut laskusuoritukset ovat liitteessä numero 3.



### KUVA 8. Rajatehot

Kuvassa 8 esitettyjen arvojen avulla voidaan päätellä, että jos kulutettava teho olisi alle 3,5 MVA rajatehojen mukaan, kannattavin kaapelivalinta olisi AHXMK-W 3x95+35. Puistomuuntamon M068 saneerauksessa uusittavassa kaapelissa kulutettava teho saattaa hetkellisesti olla pienintä rajatehoa suurempi, joten rajatehon mukaan taloudellisin kaapelivalinta on AHXMK-W 3x120+35.

Jakeluverkon saneerauksissa on rajatehojen lisäksi huomioitava kuitenkin muitakin laskennallisia arvoja, joita ovat kaapelien jännitteenalenema, oikosulkuarvot ja huipputehot. Jännitteenalenemien laskennassa käytetty yhtälö on esitettyä yhtälössä numero 3.

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (r * \cos\varphi \pm x * \sin\varphi) \quad (3)$$

missä,

$\Delta U$  = absoluuttinen jännitteenalenema (V)

$I$  = kuormitusvirta ampeereina (A)

$l$  = johdon pituus kilometreinä (km)

$r$  = ominaisresistanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

$x$  = ominaisreaktanssi ( $\Omega/\text{km}$ )



Tässä saneerauksessa kaapelivälit ovat lyhyitä, joten jännitteenalenemat pysyvät niin pieninä, etteivät ne vaikuta kaapeleiden merkittävästi valintaan. Lasketut jännitteenalenemat ja muut kaapeleiden mitoituksessa hyödynnetyt laskut ovat esitettyinä liitteessä 3. Oikosulkulaskentojen ja huipputehojen arvot saatiin Trimble DMS -ohjelman laskentasovellusten avulla. Trimble DMS -laskennan tulokset on esitettyinä liitteessä 4.

Haminan Energia Oy on tehnyt linjauksen, että kaikki 20 kV jakeluverkon maakaapeloinnit tehdään kaapelilla AHXAMK-W 3x185+35. Tämän saneerauksen kaapeloinnin kuormituksen mukaan lasketettuna jopa kaapeli AHXAMK-W 3x120+35 riittäisi tässä saneerauksessa. Suurempi pinta-alainen kaapeli on kustannuksiltaan kalliimpaa, mutta se mahdollistaa sähkönkulutusten suuren kasvun ja se helpottaa verkon suunnittelua ja laskentaa.

### **7.2.2 Asiakkaille aiheutuvat keskeytykset**

Sähkönkuluttajan kokemista keskeytyksistä noin 90 % johtuu keskijänniteverkossa tapahtuneista vioista. Yleisimpiä keskeytyksiä ovat lyhyet keskeytykset, joissa sähkönkuluttajan kokema katkos on korkeintaan kolme minuuttia. Lyhyet keskeytykset saadaan selvitettyä jälleenkytkennöillä. Pidemmät keskeytykset luokitellaan pitkiksi keskeytyksiksi, ja ne jaetaan vielä suunniteltuihin työkeskeytyksiin sekä vikakeskeytyksiin. Muuntamosaneerauksista johtuvat keskeytykset luokitellaan suunniteltuihin pidempiin keskeytyksiin.

Muuntamosaneerauksista aiheutuvien keskeytysten laajuus riippuu suurelta osin 20kV-verkon silmukoista ja johtorenkaista. Haminan Energia Oy:n jakeluverkon alueen muuntamosaneerauksissa laajimmat asiakkaille aiheutuvat keskeytykset tapahtuvat usein pylväsmuuntamoiden saneerauksissa. Pylväsmuuntamoissa ei yleensä ole erottimia, vaan erotuksissa käytetään linjaerottimia.

Asiakkaille aiheutuvat keskeytykset on tarkoituksena pitää mahdollisimman pieninä ja lyhyinä. Haminan Energialla on tavoitteena pitää kaikki asiakkaiden keskeytykset alle kahden tunnin pituisina. Viime vuonna Haminan Energian jakeluverkon alueella asiakkaille on aiheutuneet keskeytykset kestivät keskimäärin 1,25 tuntia. Keskeytysten kestossa ei ole huomioitu jälleenkytkennöillä korjautuneita vikoja. Keskeytykset pidetään

pieninä huolellisen kytkentäsuunnittelun, huoltotoimenpiteiden ja verkon aktiivisen seurannan avulla.



**KUVA 9. Trimble NIS -näkökulma keskeytyksistä**

Muuntamo M068 sijaitsee Haminan Poitsilassa, joka on pääosin maakaapeloitua aluetta. Muuntamo M068 ympäröivien muuntamoiden M178 ja M091 varasyöttö on silmukaverkkojen ansiosta suhteellisen helppoa. Kuvassa 9 on esitetty verkkojärjestelmä Trimble NIS:n näkökulmasta muuntamon M068 saneerauksessa aiheutuvista keskeytyksistä. Keskeytyksiä tulee aiheutumaan 20:lle pj-liittymälle ja odotettavissa oleva keskeytysaika tulee olemaan noin tunnin mittainen.

### 7.3 Tarjouspyynnöt muuntamoista

Ennen tarjouspyyntöjä lähetin kolmelle Suomen yleisimmistä puistomuuntamoiden valmistajista sähköpostia Haminan Energia Oy:n puistomuuntamoista ja pyysin heiltä myyntiesitteitä ja teknisiä tietoja heidän vastaavanlaisista puistomuuntamoistaan. Pyysin heiltä esitteet ja tekniset tiedot sekä ilmaeristeisistä että SF6-eristeisistä puistomuuntamoista 3+1 kojeistolla, jotka soveltuvat 800 kVA muuntajille. Vastauksena sähköpostiini sain myyntiesitteitä seitsemästä eri puistomuuntamosta. Puistomuuntamoiden vertailun helpottamiseksi tein Excel-taulukon, johon kokosin muuntamoiden oleellimmat

tiedot. Puistomuuntamoiden vertailussa hyödynnetty taulukko on esitettyä liitteessä 1. Taulukko on muutettu anonyymiksi Haminan Energia Oy:n pyynnöstä.

Vertailin myyntiesitteitä Haminan Energia Oy:n käytön johtajan ja verkostosuunnittelijoiden kanssa. Ennen vertailua tutkin aiemmin asennettujen puistomuuntamoiden ominaisuuksia ja keskustelin verkostosuunnittelijoiden ja asentajien kanssa niiden käytettävyydestä. Yhden vertailtavista puistomuuntamoista karsin suoraan pois keskusteltuani asentajien kanssa, koska he kertoivat, että kyseisen muuntamon kaapelipäätteet ovat vaikeasti asennettavissa. Karsitussa muuntamossa kaapelipäätteet asennetaan peräkkäin ja muissa muuntamoissa rinnakkain. Muita vertailussa käytettyjä kriteereitä olivat muun muassa:

- muuntamoiden ulkomitat
- kj- ja pj- kojeistojen ominaisuudet
- maadoituserottimet ja maadoituspallot
- pj-lähtöjen mahdollinen määrä
- muuntamoiden käytettävyys
- muuntamon perustan rakenne
- muuntajakoneen kokovaihtoehdot
- muuntamon ulkonäkö.

Vertailun jälkeen päätimme, että lähettäisin tarjouspyynnöt kolmesta eri puistomuuntamosta. Tarjouspyynnöissä mainitsin tarjouskyselyä koskevan muuntamon tiedot ja vaatimukset. Mahdollisista tulevista käyttökohteista riippuen pyysin tarjoukset RAL-värikartan väreillä värjättyinä sekä kestopuupinnoitteella. Liitteenä 2 on esitettyä yksi lähetetyistä tarjouspyynnöistä, joka on muutettu anonyymiksi.

#### **7.4 Urakkaohjelma**

Urakkaohjelman tarkoituksena on kertoa urakoitsijalle urakan sisältö ja määritellä tehtävät työt ja maksut. Haminan Energia Oy:n urakkaohjelmassa määritellään ainakin seuraavat kohdat: tiedot rakennuskohteista, suunnittelusta, asiakirjoista, määräyksistä, työluvista, vakuutuksista, vahingonkorvauksista, työn valvonnasta, työn muutoksista, maksuista, takuista, vakuuksista, viivästymissakoista, työn suoritusajasta, urakkamuodosta ja urakan laajuudesta.

Yksi tärkeimmistä urakkaohjelman luvuista koskee urakan laajuutta, jossa käsitellään, mitä urakkaan sisältyy. Muuntamon M068 saneerauksessa urakan laajuuteen sisältyi 0,4 kV ja 20 kV sähköverkkojen maakaapelointien ja suojaputkitusten rakentaminen materiaalihankintoineen sekä muuntamon asentaminen täysin valmiiksi, toimiviksi ja tarkastetuiksi kokonaisuuksiksi suunnitelma-asiakirjojen mukaisessa laajuudessa. Samoin urakkaan sisältyvät myös asiakirjoissa esitettyjen liitososien hankinta ja liitoksien teko nykyiseen verkkoon keskeytysjärjestelyineen.

Urakoitsijan kannalta myös urakkaohjelmassa mainitut maksut ja sakot ovat oleellisia. Urakkaohjelman viivästymissakko -luvussa määritellään sakon suuruus ja sakollisen ajan alkaminen. Tässä urakassa määriteltiin, että yleisistä sopimusehdoista poiketen viivästyssakko on 0,2 % verottomasta urakkasummasta jokaiselta alkavalta vuorokaudelta, mutta kuitenkin enintään 10 % verottomasta kokonaissummasta. Sakollinen aika määriteltiin alkavaksi vuoden 2016 loppupuolella.

## **7.5 Rakennustapaselostus**

Haminan Energia Oy:n rakennustapaselostuksessa määritellään ainakin seuraavat kohdat: rakennuskohde yleisesti, esityöt, maatyöt, sähkötyöt ja muut työt. Sähkötöissä erotellaan muuntamoon, 20 kV verkkoon, 0,4 kV verkkoon, katuvaloverkkoon, maadoitukseen, suojaputkitukseen ja ohjauskaapeliverkkoon liittyvät työt.

### *Rakennustapaselostuksessa määritellyt työt muuntamolle*

Olemassa oleva puistomuuntamo M068 korvataan uudella puistomuuntamolla M199. Uuden muuntamon tyyppi on Finnkumun MTXL24A-muuntamo ilmaeristeisellä 3+1 kj- kojeistolla ja muuntamoon asennetaan 315 kVA muuntajakone. Muuntamon omakäyttökeskuksen pääkytkimeen määriteltiin asennettaviksi 25 A 000-kokoiset kahvasulakkeet. Tämän saneerauksen muuntamoa päätettäessä ei vielä huomioitu muuntamoiden kilpailutusta, koska kyseinen Finnkumun muuntamo oli jo tilattu ennakkoon.

### *Rakennustapaselostuksessa määritellyt 20 kV:n työt*

Uudelta muuntamolta M199 rakennetaan 20kV kaapeli AHXAMK-W 3x185+35 Martinsaarenkadulle ja liitetään muuntamolle M091 menevään kaapeliin. Muuntamo M068 liitetään kaapelilla AHXAMK-W 3x185+35 muuntamolle M178 menevään kaapeliin. Muuntamoiden M091 ja M155 välinen kaapeli uusitaan kaapelilla AHXAMK-W 3x185+35 väliltä Martinsaarenkatu – Salmenkyläntie.

Maakaapeleiden rinnalle rakennetaan Cu25-laajamaadoituselektrodi. Elektrodit kytetään M068 päämaadoituskiskoon ja muuntamoilta M091 ja M155 tuleviin laajamaadoituselektrodeihin. Kaapelien rakenteellisena osana olevat Cu35:t kytetään kyseisten kennojen maadoitusliittimiin ja kaapelipäätteisiin. Maadoitusyhteys päämaadoituskiskoon tulee varmistaa mittaamalla.

Työn aikana näkyviin jäävä kaapeli ei saa olla jännitteinen. Kaapelit tulee asentaa siten, että ne eivät ole missään kohdassa kosketuksissa toisiin kaapeleihin. Tienalituskohdissa kaapeli asennetaan suojaputkeen suunnitelmapiirustusten mukaisesti. Suojaputken päät tulee tulpata hiekkatiiviisti ensisijaisesti siihen tarkoitetuilla suojatulpilla.

### **7.6 Tarjouspyyntö urakasta**

Urakkatarjouspyynnön tarkoituksena on kehottaa urakoitsijaa tekemään tarjous tarjouspyyntö asiakirjan mukaisista kohteista. Urakkatarjouspyynnössä on eriteltynä, että mille projektille tarjousta pyydetään ja mitkä ovat urakoitsijan sekä rakennuttajan oikeudet. Urakkatarjouspyynnön liitteinä pyydettiin toimitettavaksi seuraavat asiakirjat:

- urakkatarjouslomake
- urakkaohjelma
- rakennustapaselostus
- kaikki suunnitelma-asiakirjat.

Muuntamon M068 urakkatarjouspyynnössä urakoitsijalle on annettu mahdollisuus tehdä tarjous joko kokonaisurakasta tai valitsemistaan urakan osa-alueista.

Urakoitsijan ja työn tilaajan on huomioitava tilaajavastuulain pykälä *Tilaajan selvitysvelvollisuudesta ja vastuusta ulkopuolista työvoimaa käytettäessä 1233/2006*. Pykälässä määritellään, että tarjouksen arvon ylittäessä 7500€ on urakoitsijan toimitettava seuraavat selvitykset:

- selvitys siitä, onko yritys merkitty ennakkoperintälain mukaiseen ennakkoperintärekisteriin ja työnantajarekisteriin sekä arvonlisäverolain mukaiseen arvonlisävelvollisten rekisteriin
- kaupparekisteriote
- todistus verojen maksamisesta tai verovelkatodistus taikka selvitys siitä, että verovelkaa koskeva maksusuunnitelma on tehty
- todistukset eläkevakuutusten ottamisesta ja eläkevakuutusmaksujen suorittamisesta tai selvitys siitä, että eräänntyneitä eläkevakuutusmaksuja koskeva maksusopimus on tehty
- selvitys työhön sovellettavasta työehtosopimuksesta tai keskeisistä työehdoista;
- selvitys työterveyshuollon järjestämisestä.

Lisäksi tapaturmavakuutuslaki 459/2015 määrittää, että rakennustoiminnan tilaajalla on oltava todistus siitä, että sopimuspuolella on laissa tarkoitettu vakuutus. Urakkatarjouspyynnössä määritellään myös muun muassa se, että työntekijätietojen tiedonantovelvollisuus on pääurakoitsijalla.

## **8 MUUNTAMOSANEERAUSTEN KUSTANNUSTEN ALENTAMINEN**

Tässä luvussa on muuntamon M068 saneerauksen pohjalta tehtyjä laskelmia ja päätelmiä mahdollisista saneerauskustannusten alentamisesta. Luvussa keskitytään puistomuuntamon, kaapeleiden ja muuntajan kuluihin sekä mahdollisiin kustannusten alentamisiin. Luvussa ei käsitellä saneerauksen työn osuutta, koska Haminan Energia Oy kilpailuttaa muuntamosaneeraukset tapauskohtaisesti.

## 8.1 Muuntamoiden kilpailutus

Tässä alaluvussa käsitellään luvun 7.3 tarjouspyyntöjen tuloksia. Tarjouspyynnöt lähetettiin kolmelle eri valmistajalle, joita käsittelen Haminan Energia Oy:n pyynnöstä anonyymisti. Heidän lähettämiensä myyntiesitteiden ja tarjousten perusteella tein vertailua eri puistomuuntamoiden kesken. Kaikkiin muihin puistomuuntamoihin, paitsi muuntaamoon kaksi sisältyy tarjouspyynnössä mainitut jonovarokeytkimet.

### *Puistomuuntamo 1, valmistajana a*

Valmistaja *a* teki tarjouksen kahdesta eri puistomuuntamostaan, joista tämä on pienempi ja *puistomuuntamo 2* on suurempi.

- Hinta: 17 270 €
- Muuntaja max: 630 kVA
- Jonovarokeytkimet 7x630 A (tarjouspyynnön tilantarve 10kpl)
- PJ- kiskoston yhteensopivuus muiden valmistajien kanssa
  - ABB (ZLBM & XLBM)
- Betonisokkeli ei saatavilla
- Erikoisverhoilu (vastaa kestopuuta) 1200 €

### *Puistomuuntamo 2, valmistajana a*

- Hinta: 18 380 €
- Muuntaja max: 1000 kVA
- Jonovarokeytkimet 12x630 A
- PJ- kiskoston yhteensopivuus muiden valmistajien kanssa
  - ABB (ZLBM & XLBM)
- Betonisokkeli ei saatavilla
- Erikoisverhoilu (vastaa kestopuuta) 1200 €

### *Puistomuuntamo 3, valmistajana b*

- Hinta: 18 300 €
- Muuntaja max: 1000 kVA

- Jonovarokeytkimet 12x630 A
- PJ- kiskoston yhteensopivuus muiden valmistajien kanssa
  - Jean Muller
- Kestopuupinnoite 975 €
- Betonijalusta 950 €

Tämän vertailun perusteella tein johtopäätöksen, että Haminan Energia Oy:lle laajennettavuuden, yhteensopivuuden ja kustannusten kannalta paras puistomuuntamo olisi isommissa saneerauksissa valmistajan *a puistomuuntamo 2* ja pienemmissä saneerauksissa valmistajan *a puistomuuntamo 1*. Valmistajan *b puistomuuntamo 3* olisi paras valinta, jos saneerauskohteeseen tarvitaan betonisokkelilla varustettu puistomuuntamo.

## 8.2 Kaapeloinnin vaihtoehdot

Tämän opinnäytetyön muuntamosaneerauksen kaapeleiden valinta tehtiin huomioimalla luotettavuus, vaikutus ympäristöön sekä investointi, hoitokustannukset ja verkon yhtenäisyys. Tässä alaluvussa kerrotaan, miksi tässä työssä päädyttiin maakaapeleihin. Maakaapeleiden mitoituksesta kerrottiin tarkemmin luvussa 7.2.1.

Kaapeloinnin vaihtoehtoina olivat joko maakaapelit tai ilmajohtot. Haminan Energian jakeluverkon taajama-alueille ei usein rakenneta ilmajohtoja, koska ne vaativat johtokäytäviä ja ovat maakaapeleita herkempiä vioille. Ilmakaapeloinnin huonoina puolina voi myöskin mainita pylväiden asennusten ja huoltotoimien kustannukset. Valtaosa maakaapelivioista aiheutuu maan kaivamisen yhteydessä vaurioituneesta kaapelista. Ilmakaapeloinnin etuna maakaapelointiin nähden ovat kuitenkin pienemmät investointikustannukset ja vaurioituneet ilmajohtot ovat maakaapeleita helpommin korjattavissa.

Muuntamo M068 saneerauksessa päädyttiin käyttämään maakaapeleita muuntamon sijainnin takia ja koska olemassa olevat kaapelit olivat maakaapeleita. 20 kV:n maakaapelina käytetään AHXAMK-W 3x185+35 kaapelia. Luvussa 7.2.1 suoritetuista laskuista pystyy havaitsemaan, että tässä muuntamosaneerauksessa jopa AHXAMK-W 3x120+35 kaapeli olisi ollut riittävä. Haminan Energia Oy on kuitenkin tehnyt linjauksen AHXAMK-W 3x185+35 kaapelin käytöstä kj-kaapeloinneissa.



### 8.3 Tulevaisuus

Haminan Energia Oy:n jakeluverkossa tapahtuvalle sähkön kulutukselle ei ole oletettavissa mitään suuria muutoksia. Arvioidaan kuitenkin, että Suomen taloustilanteen parantuessa pientä tasaista kasvua on odotettavissa. Muuntamosaneerausten ja jakeluverkon suunnittelussa kannattaa yleisesti jättää varaa tulevaisuuden sähkönkulutuksen muutoksille, koska kapasiteettia on vaikea lisätä äkillisesti. Jakeluverkon suunnittelussa on huomioitava suunniteltavan kohteen hyvä käyttövarmuus eli luotettavuus ja laajennettavuus.

Haminan Energia Oy:n tulevilla muuntamosaneerauksissa tullaan hyödyntämään tämän opinnäytetyön kilpailutuksessa saatuja tarjouksia ja niiden yhteydessä tehtyjä vertailuja. Tulevilla muuntamosaneerausten kaapelointeihin liittyvissä päätöksissä ja linjauksissa käytetään hyväksi kaapeleiden vertailussa saatuja tuloksia ja niiden pohjalta tehtyjä johtopäätöksiä. Tässä opinnäytetyössä on lueteltuna sekä selostettuna puisto- ja muuntamosaneerausten päävaiheet ja niiden kustannukset, joten opinnäytetyön pohjalta olisi suhteellisen helppo tehdä ohjeistus tulevien muuntamosaneerausten suunnittelussa huomioitavista asioista ja niihin liittyvistä kustannuksista.

#### 8.3.1 Luotettavuus

Muuntamon M068 saneerauksessa tehdyillä valinnoilla tähdättiin verkon korkeaan luotettavuuteen ja valitut komponentit ovatkin korkealaatuisia ja luotettavia. Kaapeleiden valinnassa yksi tärkeimmistä valintaperusteista oli sähkönjakelun luotettavuus ja todettiin, että se saavutetaan maakaapeloinnin avulla.

Haminan Energia Oy miettii aina saneerausten luotettavuutta sähkönjakeluverkon käyttövarmuuden kannalta. Sähköverkon luotettavuutta mitataan usein sähkönjakelun keskeytysten vähyyden mukaan. Tässä saneerauksessa asennetun uuden muuntamon M199 jakelualueella suunnittelemtomien keskeytysten todennäköisyys on pieni. Mahdolliset keskeytykset tulevat aiheutumaan todennäköisesti laajennustöistä, kaapeleiden vioittumisesta maankaivuun yhteydessä tai muuntamoa syöttävän kj-verkon vioittumisesta.

Tulevaisuudessa sähkönjakeluverkon luotettavuutta voidaan parantaa ns. älyratkaisuilla. Tulevaisuuden sähköverkoissa verkon älykkyys tulee olemaan erittäin tärkeää luotettavuuden kannalta. Yksinkertaisesti sanottuna sähköverkon älykkyuden lisääntymisellä tarkoitetaan automaation ja verkonhallintaohjelmistojen lisääntymistä. Sähköverkon luotettavuus paranee, kun älykäs verkko integroi hajautetun sähköntuotannon energiamarkkinoiden hyödynnettäväksi.

### **8.3.2 Laajennettavuus**

Muuntamosaneerauksessa saneeratun muuntamon M068 tilalle asennetun muuntamon M199 laajennettavuus on hyvä. Muuntamossa on yksi ylimääräinen kj-lähtö, joka mahdollistaa kj-verkon laajentamisen. Muuntamon pienjännitekeskuksen jonovarokelähtöihin jää useita vapaita lähtöjä sekä pienjännitekeskuksen kuormitus on kaukana raja-arvoista. Uuteen puistomuuntamoon asennettava muuntajakone on mitoitettu riittäväksi muuntamon jakelualueelle riittäväksi ja se on myös helposti vaihdettavissa suurempaan. Tässä saneerauksessa käytettävään Finnkumun muuntamoon M199 asennetaan 315 kVA muuntaja. Suurin muuntajakone, jonka kyseiseen Finnkumun muuntamoon saa asentaa, on 1000 kVA.

Muuntamosaneerauksessa asennettava kj-kaapeli AHXAMK-W 3x185+35 mahdollistaa saneerattavalle verkolle paljon nykykuormitusta suuremman kuormituksen. Kaapeloinnin tarjoaman suuren kapasiteetin ansiosta voidaan tarvittaessa vaihtaa muuntamon muuntaja, kj-kojeisto tai vaikka koko puistomuuntamo suurempaan.

Puistomuuntamon M199 jakelualueen kuormituksen kasvaessa ensimmäinen laajennettava kohde tulisi luultavasti olemaan muuntaja, mutta sekin riippuu kasvun ominaisuuksista. Kuormituksen kasvaessa yksi tulevaisuuden vaihtoehdoista voisi olla kaapeleiden suuren kapasiteetin ja ylimääräisen kj-lähdön hyödyntäminen. Kaapelit ja ylimääräinen kj-lähtö mahdollistavat uuden muuntamon syöttämisen ja muuntamon M199 jakelualueen jakamisen kokonaan uuden muuntamon kanssa.

## 9 POHDINTA

Opinnäytetyön lopuksi pohdin ja arvion opinnäytetyöprosessia kokonaisuudessaan. Tässä opinnäytetyössä tarkoitukseni oli selvittää Haminan Energia Oy:n puistomuuntamosaneerausten kustannusten jakautuminen ja tutkia sekä kilpailuttaa puistomuuntamosaneerauksiin liittyviä kustannuksia. Tulosten perusteella laadin mahdollisia vaihtoehtoja Haminan Energia Oy:n tekemiin puistomuuntamosaneerausten investointeihin. Tämän opinnäytetyön kilpailutukset ja laskelmat ovat helposti hyödynnettävissä tulevissa puistomuuntamosaneerauksissa. Uskon, että opinnäytetyössäni saavuttamani tulokset ovat Haminan Energia Oy:n kannalta hyödyllisiä, koska vastaavanlaista tutkimusta ei ole tämän vuosituhannen puolella tehty.

Tämä opinnäytetyö antaa hyvän pohjan jatkotutkimukselle, jossa voitaisiin tehdä yleispätevä kirjallinen ohjeistus tulevia puistomuuntamosaneerauksia helpottamaan. Kirjallinen ohjeistus voisi sisältää yksityiskohtaisen selostuksen kaikista työvaiheista ja työssä hyödynnettävien suunnitteluohjelmistojen toiminnoista. Ohjeistukseen voisi myöskin sisällyttää osion muuntamoiden vertailusta ja puistomuuntamoiden vertailtavista ominaisuuksista. Ohjeistus tehostaisi ja yhdenmukaistaisi tulevien puistomuuntamosaneerausten suunnittelua.

Tämä opinnäytetyö sai alkunsa, kun keskustelin Haminan Energia Oy:n käyttöpäällikön kanssa aiheesta. Kerroin heille, mitä opinnäytetyön pitäisi pitää sisällään ja mikä minua kiinnostaisi. Minulle tarjottiin erilaisia vaihtoehtoja opinnäytetyölleni ja niistä päädyin tähän muuntamosaneerauksiin liittyvään työhön, koska se oli mieluinen aihe työlleni. Olen työskennellyt Haminan Energia Oy:llä useana kesänä kesätyöntekijänä, joten opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoista ja työskentely-ympäristö oli motivoiva.

Opinnäytetyöprosessini taustoitus alkoi keskustelemalla työn toimeksiantajan ja sähkötekniikan opettajien kanssa. Keskustelujen pohjalta tutustuin aiheen teoriaan ja sen myötä opinnäytetyön varsinainen aihealue alkoi selkeytyä. Tutkittuani aiempia muuntamosaneerauksia oli viitekehyksen rajaaminen suhteellisen helppoa. Teoriaosuus jakaantui puistomuuntamosaneerausten suunnittelun taustoille ja eri työvaiheille. Muuntamosaneerausten kustannuksia päätin tutkia komponentteihin kuuluvien investointien

kautta. Kaapeleiden kustannusten vertailussa hyödynsin kirjallisuutta ja ennestään hallussa olleita laskuoppeja. Puistomuuntamoiden kustannuksia päätin vertailla eri valmistajien samantyyppisiä muuntamoita kilpailuttamalla.

Opinnäytetyöprosessin alussa asetin itselleni aikataulun ja välitavoitteita. Prosessin alussa pysyin hyvin tavoitteissani, mutta pikkuhiljaa jäin niitä hieman jälkeen. Onnekseni onnistuin lopulta tavoittamaan aikatauluani ja sain prosessin valmiiksi ajoissa. Aikatauluni haasteet johtuivat siitä, että suoritin kurssuja Mikkelissä ja samaan aikaan tein opinnäytetyötä Haminassa. Olen kuitenkin tyytyväinen työni lopputulokseen ja koen opinnäytetyöprosessin olleen erittäin mielenkiintoinen ja palkitseva.

Tämän opinnäytetyön kirjoittaminen oli erittäin kiinnostava ja omalla tavallaan haastavakin prosessi. Tämä opinnäytetyö oli minulle tähän mennessä yksi elämäni laajimmista yksittäisistä prosesseista. Opinnäytetyöprosessin kokonaisvaltainen hallitseminen oli yksi suurimmista haasteistani opinnäytetyöni aikana. Aikataulutin opinnäytetyöni etukäteen ja petyin välillä itseeni, kun työni ei edennyt suunnittelemani nopeudella. Viivytyksistä huolimatta onnistuin prosessin lopussa kirimään aikatauluani kiinni ja sain työn palautettua suunnitelmieni mukaisesti. Toinen haastava aihealue opinnäytetyösäni oli puistomuuntamoiden kilpailutus. Kaikki puistomuuntamot ovat niin lähellä toisiaan, että muuntamoiden ominaisuuksien vertailua piti pohtia paljon ja se oli aika ajoin puuduttavaa. Muut työvaiheet vaativat paljon keskittymistä ja huomioita, mutta ne eivät erottuneet toisistaan haastavuudellaan. Opinnäytetyöprosessin aikana koin, että ammatillinen tietämykseni sähkönsiirtoverkostoista ja puistomuuntamoista kehittyi huomattavasti. Mielestäni myöskin paineensietokykyyni ja kirjoitustaitoni kehittyivät uudelle tasolle. Olen tyytyväinen opinnäytetyöni lopputulokseen, sillä eri kaupungeissa suoritettavien opiskelujen ja opinnäytetyön yhteensovittaminen toi prosessiin omat haasteensa.

Seuraavaa vastaavanlaista työtä tehdessäni tulen aikatauluttamaan työni viisaammin ja etenemään työskentelyssä hieman eri tavalla, koska nyt tiedän omat vahvuuteni. Jos tekisin tämän opinnäytetyön uudestaan ja haluaisin työstäni laajemman, ottaisin puistomuuntamoiden kilpailutukseen myös täysin ulkomaalaisia valmistajia mukaan, jotta saisin enemmän eroavaisuuksia vertailtavakseni. Kaapeleiden pinta-alojen vertailussa voisin myöskin vertailla erilaisia kaapelityyppejä ja laskea niiden eroja ilmajohtoihin. Mahdollisista laajentamisvaihtoehdoista huolimatta pidän opinnäytetyötäni riittävänä ja

onnistuneena. Nyt valmista opinnäytetyötäni lukiessani koen, että pystyin sisällyttämään työhöni kaikki oleelliset asiat tämän tutkimuksen tulkitsemisen sekä hyödyntämisen kannalta.

## LÄHTEET

- ABB TTT-käsikirja. 2000. ABB. WWW-dokumentti. [http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/13\\_S%84hk%94asemat-kojaistot-muuntamot.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/13_S%84hk%94asemat-kojaistot-muuntamot.pdf). Ei päivitystietoja. Luettu 20.02.2016.
- Elkamo. 2016. ELMO-moduulimuuntamot. WWW-dokumentti. <https://www.elkamo.fi/fi/tuotteet/muuntamot/elmo/>. Ei päivitystietoja. Luettu 21.02.2016.
- Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa 2011. Sähköverkot 1: Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta. Helsinki: Otatieto.
- Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa 2011. Sähköverkot 2: Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto.
- Hietalahti, Lauri 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Amk- Kustannus Oy Tammertekniikka.
- Hietalahti, Lauri 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Tampere: Amk- Kustannus Oy Tammertekniikka.
- Järvinen, Jouko 2012. Kuva. WWW-dokumentti. <http://calm.iki.fi/tolpat/kuva/5826>. Päivitetty 31.03.2012. Luettu 17.04.2016
- Kauppila, Juha, Tiainen, Esa & Ylinen, Timo 2010. Sähköasennukset 3. Espoo: Sähköinfo Oy.
- Lakervi, Erkki 1996. Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu. Helsinki: Otatieto.
- Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.
- Muuntaja yleisesti. 2016. Trafomic. WWW-dokumentti. <http://www.trafomic.fi/muuntaja>. Ei päivitystietoja. Luettu 14.02.2016.
- Määräys sähkönjakeluverkon kehittämissuunnitelmasta. 2014. Finlex. WWW-dokumentti. [http://www.finlex.fi/data/normit/41524-Energiaviraston\\_maarays\\_sahkonjakeluverkon\\_kehittämissuunnitelmasta\\_finlex.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/41524-Energiaviraston_maarays_sahkonjakeluverkon_kehittämissuunnitelmasta_finlex.pdf). Päivitetty 13.01.2016. Luettu 16.02.2016.
- Ruppa, Erkki 2004. Johdatus sähkölaitostekniikkaan. WWW-dokumentti. <http://sala-bra.tp.samk.fi/er/siirto/johdatus.doc>. Päivitetty 26.08.2004. Luettu 20.02.2016.
- SFS käsikirja 600-1 Sähköasennukset. 2012 Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS käsikirja 601 Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot. 2015. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
- Verkostolaskenta: Luotettavuutta ja muutosten hallintaa mallinnetulla sähköverkolla. 2013. ABB. WWW-dokumentti. <https://library.e.abb.com/public/54d9de655188487082c6a35eb36cad96/Verkostolaskenta-low-res.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 18.02.2016.

VS-TO-204. 2014. Haminan Energia Oy:n sisäinen tietokanta.

VS-TO-203. 2014. Haminan Energia Oy:n sisäinen tietokanta.

LIITE 1.  
Muuntamovertilau

Valmistaja	b				d	c	a
Tyyppi	-	-	-	-	-	-	-
Ki kajoisto	Ormazabal 20kA	Ormazabal 16-25kA (useita)	NorMax(Sf6) 20kA	UE24 20kA(optio)	NAL	H22(Driescher) 20kA	
Ki mitoitusvirta	630A	630A	630A	630A	630A	630A	630A
Pj mitoitusvirta (800 kVA muuntaja)	1250A	1250A			up to 2500A	1600A	
Max muuntajakoko	1600 kVA	1000 kVA	1000 kVA	1000 kVA	1250 kVA	1000 kVA	
Ulkomitat							
- Pituus	4230	4000	3000		3030	4000	
- Leveys	2300	2310	2200		2430	2520	
- Korkeus	3000	2400	2680		2690	2411	
Jonovarokkeiden mahdollinen määrä	12	12	14		jopa 20	12	





1.4.2016  
1 ( 1 )

**Tarjouspyyntö M199**

- 1kpl puistomuuntamo mallia x ilmaeristeinen maadoitusveitsin, 1000 kVA, 20/0,4 kV, 1600A
- 9x400A ja 2x160A alaliitäntäisiä jonovarokeytkimiä sisältäen liittimet
- 3 kpl sj – sulakkeita 25 A
- Betonisokkeli
- Pj-liitäntäkiskot
- 50mm<sup>2</sup> maadoituskupari muuntajakoneen pohjan maadoitukseen
- Häätäensiapuohjeet
- Varoitustarrat
- Tarjoukset kahdella eri pinnoitteella
  - Tarjous RAL-värikartan mukaisilla väreillä
  - Tarjous kestopuupinnoitteella
- Työskentelysuoja
- Huippuvirtamittaus
- Jännitemittaukset

Kyseinen muuntamo varustetaan alustavasti 315kVA muuntajakoneella.

Muuntamo toimitettuna Haminaan. Vastaanotto paikalla ei ole tilaajan puolesta purkukalustoa.

## Kaapeleiden laskenta

Sarake1	Sarake2	Sarake3	Sarake4	Sarake5	Sarake6	Sarake7	Sarake8	Sarake9	Sarake10	Sarake11
AHXAMK-W	3x95+35	3x120+35	3x150+35	3x185+35						
resistanssi (ohm/km)	0,32	0,253	0,206	0,164						
Investointikustannukset (€/km) kaapeli	30500	34200	39510	45130						
Kuormitettavuus (A)	235	265	300	330						
Terminen kuormitettavuus (MVA)	8,140638796	9,17986928	10,39230485	11,4315353						
Kaapelit	Rajatehot									
AHXAMK-W 95-120	3,565737773 MVA		3,387450885 MW							
AHXAMK-W 95-150	4,265755023 MVA		4,052467272 MW			Sin fi			0,3122499	
AHXAMK-W 95-185	4,646712523 MVA		4,414376897 MW			Virta			60 A	
AHXAMK-W 120-150	5,100165541 MVA		4,845157264 MW						0,97152381	
AHXAMK-W 120-185	5,317420661 MVA		5,051549628 MW				Kapitaalisointikerroin		24,8193309	
AHXAMK-W 150-185	5,550466089 MVA		5,272942784 MW							
Jänniteenalennemat	Reaktanssi (ohm/km)		häviöt (V/km)		Häviöt (V)					
AHXAMK-W 120	0,119377		28,85168375		9,52105564					
AHXAMK-W 150	0,113094		24,00763653		7,92252005					
AHXAMK-W 185	0,1099525		19,75916534		6,52052456					

Lasketut kaapelivälit		Laskettuja kaapeleiden rajatehoja	
AHXAMK-W 150-185	0	330 m	
AHXAMK-W 120-185	0		
AHXAMK-W 120-150	0		
AHXAMK-W 95-185	0		
AHXAMK-W 95-150	0		
AHXAMK-W 95-120	0		

	Rajateho MVA
AHXAMK-W 150-185	24,8193309
AHXAMK-W 120-185	24,8193309
AHXAMK-W 120-150	24,8193309
AHXAMK-W 95-185	24,8193309
AHXAMK-W 95-150	24,8193309
AHXAMK-W 95-120	24,8193309

## Trimble DMS tulokset

T U L O K S E T K J - J O H T O - O S I L L E												
Alkusoimlun tunnus	Loppusolmun tunnus	Johtolaji	Pit (m)	Etäis (m)	K U O R M I T U S				J Ä N N I T E		H U O M	
					I (A)	K-aste (%)	Ph (kw/km)	Aika (h)	U (kv)	Uh (%)		Aika (%/Mw)
L Ä H T Ö : SAVINIEMI												
YHTEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET												
1	2	AHXAMK-W3x18	2682	2682	91	27	4.1	2635	20.72	0.4	2635	0.1
2	3	MMMO-KISKO-O	1	2683	91	9	0.0	2635	20.72	0.4	2635	0.1
3	4	MMMO-KISKO-O	1	2684	5	1	0.0	237	20.72	0.4	2635	0.1
3	5	MMMO-KISKO-O	3	2686	63	6	0.0	2634	20.72	0.4	2635	0.1
3	6	MMMO-KISKO-O	3	2686	24	2	0.0	2635	20.72	0.4	2635	0.1
6	7	AHXAMK-W3x18	56	2742	24	7	0.3	2635	20.72	0.4	2635	0.1
7	8	APYAKMM3x120	19	2761	24	11	0.5	2635	20.72	0.4	2635	0.1
8	9	AHXAMK-W3x18	248	3009	24	7	0.3	2635	20.72	0.4	2635	0.1
9	10	AHXAMK-W3x18	259	3268	24	7	0.3	2635	20.72	0.4	2635	0.2
10	11	MMMO-KISKO-O	1	3269	24	2	0.0	2635	20.72	0.4	2635	0.2
11	12	MMMO-KISKO-O	1	3270	1	0	0.0	135	20.72	0.4	2635	0.2
11	13	MMMO-KISKO-O	1	3270	24	2	0.0	2635	20.72	0.4	2635	0.2
13	14	AHXAMK-W3x18	264	3534	24	7	0.3	2635	20.71	0.4	2635	0.2
14	15	AHXAMK-W3x18	273	3807	24	7	0.3	2635	20.71	0.4	2635	0.2
15	16	MMMO-KISKO-O	3	3810	24	2	0.0	2635	20.71	0.4	2635	0.2
16	17	MMMO-KISKO-O	3	3813	0	0	0.0		20.71	0.4	2635	0.2
16	18	MMMO-KISKO-O	1	3811	10	1	0.0	227	20.71	0.4	2635	0.2
16	19	MMMO-KISKO-O	3	3813	15	1	0.0	2636	20.71	0.4	2635	0.2
19	20	AHXAMK-W3x18	16	3829	15	4	0.1	2636	20.71	0.4	2635	0.2
20	21	PAS3x120	355	4184	15	3	0.2	2636	20.71	0.4	2635	0.2
21	22	PAS3x120	321	4505	13	3	0.2	2635	20.71	0.5	2635	0.2
21	23	PAS3x120	1	4185	2	1	0.0	2664	20.71	0.4	2635	0.2
23	24	MMMO-KISKO-O	1	4186	2	0	0.0	2664	20.71	0.4	2635	0.2
24	25	MMMO-KISKO-O	1	4187	2	0	0.0	2664	20.71	0.4	2635	0.2
25	26	MMMO-KISKO-O	1	4188	0	0	0.0		20.71	0.4	2635	0.2
22	27	PAS3x120	66	4571	13	3	0.2	2635	20.71	0.5	2635	0.3
27	28	AHXAMK-W3x18	9	4580	13	4	0.1	2635	20.70	0.5	2635	0.3
28	29	MMMO-KISKO-O	1	4581	4	0	0.0	2635	20.70	0.5	2635	0.3
28	30	AHXAMK-W3x18	273	4853	9	3	0.0	2636	20.70	0.5	2635	0.3
30	31	AHXAMK-W3x18	321	5174	9	3	0.0	2636	20.70	0.5	2635	0.3
31	32	MMMO-KISKO-O	3	5177	9	1	0.0	2636	20.70	0.5	2635	0.3
32	33	MMMO-KISKO-O	3	5180	5	1	0.0	2635	20.70	0.5	2635	0.3
32	34	MMMO-KISKO-O	1	5178	5	1	0.0	2616	20.70	0.5	2635	0.3
32	35	MMMO-KISKO-O	3	5180	1	0	0.0	925	20.70	0.5	2635	0.2
35	36	AHXAMK-W3x18	5	5185	1	0	0.0	925	20.70	0.5	2635	0.2
36	37	AHXAMK-W3x24	161	5346	0	0	0.0	925	20.70	0.5	2635	0.2
37	38	AHXAMK-W3x18	372	5718	0	0	0.0		20.70	0.5	2635	0.2
34	39	MMMO-KISKO-O	1	5179	5	0	0.0	2616	20.70	0.5	2635	0.2
39	40	MMMO-KISKO-O	1	5180	0	0	0.0		20.70	0.5	2635	0.2
33	41	AHXAMK-W3x12	57	5237	5	2	0.0	2635	20.70	0.5	2635	0.3
41	42	SAXKA3x120	263	5500	5	2	0.0	2635	20.70	0.5	2635	0.3
42	43	AHXAMK-W3x12	28	5528	5	2	0.0	2635	20.70	0.5	2635	0.3
43	44	MMMO-KISKO-O	1	5529	5	1	0.0	2635	20.70	0.5	2635	0.3
44	45	MMMO-KISKO-O	1	5530	5	1	0.0	2635	20.70	0.5	2635	0.3
45	46	MMMO-KISKO-O	2	5532	0	0	0.0		20.70	0.5	2635	0.2
45	47	MMMO-KISKO-O	1	5531	5	1	0.0	2635	20.70	0.5	2635	0.3
47	48	MMMO-KISKO-O	1	5532	5	0	0.0	2635	20.70	0.5	2635	0.3
48	49	MMMO-KISKO-O	1	5533	0	0	0.0		20.70	0.5	2635	0.2
29	50	MMMO-KISKO-O	1	4582	4	0	0.0	2635	20.70	0.5	2635	0.3
50	51	MMMO-KISKO-O	1	4583	4	0	0.0	2635	20.70	0.5	2635	0.3
51	52	MMMO-KISKO-O	1	4584	0	0	0.0		20.70	0.5	2635	0.2
18	53	MMMO-KISKO-O	1	3812	10	1	0.0	227	20.71	0.4	2635	0.2
53	54	MMMO-KISKO-O	1	3813	0	0	0.0		20.71	0.4	2635	0.2
12	55	MMMO-KISKO-O	1	3271	1	0	0.0	135	20.72	0.4	2635	0.2
55	56	MMMO-KISKO-O	1	3272	0	0	0.0		20.72	0.4	2635	0.1
5	57	AHXAMK-W3x18	57	2743	63	19	2.0	2634	20.72	0.4	2635	0.1
57	58	APYAKMM3x120	105	2848	63	28	3.1	2634	20.72	0.4	2635	0.1
58	59	APYAKMM3x120	251	3099	63	28	3.1	2634	20.71	0.4	2635	0.2
59	60	AHXAMK-W3x18	20	3119	63	19	2.0	2634	20.71	0.4	2635	0.2
60	61	APYAKMM3x120	61	3180	64	28	3.1	2634	20.71	0.5	2635	0.2
61	62	AHXAMK-W3x18	110	3290	64	19	2.0	2634	20.70	0.5	2635	0.2
62	63	MMMO-KISKO-O	3	3293	64	6	0.0	2634	20.70	0.5	2635	0.2
63	64	MMMO-KISKO-O	1	3294	4	0	0.0	2640	20.70	0.5	2635	0.2
63	65	MMMO-KISKO-O	3	3296	60	6	0.0	2634	20.70	0.5	2635	0.2
63	66	MMMO-KISKO-O	3	3296	0	0	0.0		20.70	0.5	2635	0.1
65	67	AHXAMK-W3x18	111	3407	60	18	1.8	2634	20.70	0.5	2635	0.2
67	68	APYAKMM3x120	330	3737	60	27	2.8	2634	20.69	0.5	2635	0.2
68	69	MMMO-KISKO-O	3	3740	60	6	0.0	2634	20.69	0.5	2635	0.2

## M U U N T A M O T - Y H T E E N V E T O (SUUNNITTELUKANNAN TULOKSET)

Sähköaseman tunnus	Lähdön tunnus	Muuntamon tunnus	Muuntajan tunnus	Sn (kVA)	K-aste (%)	Etäis (m)	VIKA YLÄJÄNNITEPUOLELLA			VIKA ALAJÄNNITEPUOLELLA			
							sk (MVA)	Ik3 (kA)	Laskenta-päivämaara	sk (MVA)	Ik3 (A)	Ik3 Laskenta-päivämaara	
JUSSILA	SAVINIEMI	M017	18	500	105	5883	142	3.9	13.04.2016	12.15	16142	323	12.11.2012
JUSSILA	SAVINIEMI	M018	KULUTTUJAN O			6095	141	3.9	13.04.2016				
JUSSILA	SAVINIEMI	M026	0603			5179	142	3.9	13.04.2016				
JUSSILA	SAVINIEMI	M032	164	500	32	7486	130	3.6	13.04.2016	11.80	15670	313	12.07.2012
JUSSILA	SAVINIEMI	M043	0602	100	15	4187	154	4.2	13.04.2016	2.55	3386	68	27.09.2013
JUSSILA	SAVINIEMI	M068	61	315	80	3742	161	4.4	13.04.2016	7.59	10078	202	22.10.2015
JUSSILA	SAVINIEMI	M080	156			4587	146	4.0	25.02.2011				
JUSSILA	SAVINIEMI	M091	116	200	78	3295	166	4.6	13.04.2016	4.99	6627	133	22.06.2015
JUSSILA	SAVINIEMI	M119	0204	800	33	6483	127	3.5	25.02.2011	17.82	23669	473	24.08.2011
JUSSILA	SAVINIEMI	M131	0201	500	128	6319	139	3.8	13.04.2016	12.37	16431	329	24.04.2012
JUSSILA	SAVINIEMI	M141	109			3812	161	4.4	13.04.2016				
JUSSILA	SAVINIEMI	M152	97			3271	166	4.6	13.04.2016				
JUSSILA	SAVINIEMI	M154	0202			5532	138	3.8	13.04.2016				
JUSSILA	SAVINIEMI	M155	168			2685	173	4.7	13.04.2016				
JUSSILA	SAVINIEMI	M178	1LPL468830	500	83	4137	157	4.3	13.04.2016	11.53	15311	306	07.10.2014
JUSSILA	SAVINIEMI	M179	1LPL465949	200	82	4583	146	4.0	13.04.2016	5.62	7464	149	24.04.2012
JUSSILA	SAVINIEMI	M180	M180			6813	135	3.7	13.04.2016				

